中華農業研究 (Jour. Agric. Res. China) 44(2)：166～173 (1995)

麥蛾對巴賽松之抗藥性研究[1]

姚 美 吉　　羅 幹 成[2]

摘要：長期使用巴賽松 (phoxim) 防治積穀害蟲後，本省最重要之鱗翅目積穀害蟲麥蛾 (*Sitotroga cerealella Olivier*) 部分品系已對巴賽松產生明顯抗藥性。以巴賽松對麥蛾之半數擊倒濃度 (KC_{50}) 進行比較，其中民雄品系抗藥性最強，和美品系最敏感，對巴賽松之相對抗藥性比最高達36。民雄抗藥性品系對有機磷藥劑陶斯松及氨基甲酸鹽之免敵克具較明顯交互抗性，而對除蟲菊類則無交互抗藥性現象發生。溫度對藥劑之毒效影響極明顯，有機磷及氨基甲酸鹽類藥劑之毒效隨溫度成比例增加，但除蟲菊類則呈負相關，20°C時第滅寧對民雄之巴賽松高抗性品系的毒效最好。30°C則以賽滅寧最佳，免敵克毒效亦尚佳。因此建議冬季使用除蟲菊類藥劑，夏季則與免敵克輪替使用。

關鍵詞：麥蛾、巴賽松、交互抗性、溫度。

麥蛾 (*Sitotroga cerealella* Olivier) 爲本省重要之鱗翅目倉庫害蟲，成蟲喜產卵於麻布袋之縫隙間或稻穀表面。一齡幼蟲因蟲體甚小，可自由進入細麻袋內，侵入稻穀中生長發育。幼蟲蛀食穀粒，使穀粒空心，5至9月時爲害嚴重[3,8]。爲害對象以稻穀爲主，於糙米倉則甚少爲害，且稻穀倉又以散裝倉較袋裝倉嚴重。爲害地區的分佈上，花東區高於西部各區[2,6]。

本省對麥蛾之防治以藥劑爲主，1971年改用馬拉松 (malathion)，1979年以後則以巴賽松 (phoxim) 使用至今。高和曾[5]調查不同品系之麥蛾對馬拉松及巴賽松之抗藥性程度，發現對馬拉松之相對抗藥性比 (relative resistance ratio) 最高達111，對巴賽松亦達81。此結果顯示麥蛾對馬拉松及巴賽松均已產生抗藥性，但對其他種類殺蟲劑是否產生交互抗性，均值得儘速瞭解。

爲瞭解長期使用巴賽松後，麥蛾對其他藥劑是否產生交互抗性和解決倉庫之麥蛾防治問題，本試驗自1994年5月起分別至全省之穀倉採集各地麥蛾品系，進行對巴賽松抗藥性程度測試，並從其中選出對巴賽松之感性及抗性品系。選擇三類八種倉庫害蟲常用防治藥劑[12]，包括有機磷類之陶斯松 (chlorpyrifos) 及馬拉松 (malathion)，氨基甲酸鹽類之免敵克 (bendiocarb) 及加保利 (carbaryl)，與除蟲菊類之百滅寧 (permethrin)、第滅寧 (deltamethrin) 及賽滅寧 (cypermethrin)，並比較此兩品系對三類殺蟲劑之交互抗性情形，篩選有效藥劑，提供未來防治上交替應用。本實驗室在穀蠹的防治研究上發現溫度對藥劑之毒效影響極大[4]，因此本試驗亦進一步探討溫度對藥效之影響，並了解麥蛾對巴賽松之抗藥機制，以確實解決抗藥性問題。

材料與方法

一、供試藥劑

三類八種殺蟲劑及三種協力劑，分別爲

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1788 號。
2. 本所應用動物系助理及研究員兼系主任。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。

(一)巴賽松（phoxim），82.7%工業級原體，興農公司提供。

(二)陶斯松（chlorpyrifos），95%工業級原體，惠光公司提供。

(三)馬拉松（malathion），95%工業級原體，興農公司提供。

(四)加保利（carbaryl），99%工業級原體，興農公司提供。

(五)免敵克（bendiocarb），50%可濕性粉劑，發順公司提供。

(六)百滅寧（permethrin），90%工業級原體，興農公司提供。

(七)第滅寧（deltamethrin），98%工業級原體，興農公司提供。

(八)賽滅寧（cypermethrin），90%工業級原體，興農公司提供。

(九)氧化酵素（microsomal monooxygenases）抑制劑 piperonyl butoxide （PB），90%分析試劑購自 Aldrich Chemical（Milwaukee, Wis.）。

(十)水解酵素（esterases）抑制劑 *S,S,S*-tributyl phosphorotrithioate（TBPT），70.5%工業級原體由 Chemagro Co.製造。

(土)麩胱甘肽轉基酶（glutathione-*S*-transferases）抑制劑 N-ethylmaleimide（NEM），100%分析試劑購自 Sigma 公司（St Louis, MO）。

二、供試蟲源

麥蛾自1994年 5 月起採自全省各地穀倉，包括湖口（Hukou）、觀音（Kuanyin）、後龍（Houlung）、霧峰（Wufeng）、和美（Homei）、溪州（Chichou）、南埔（Nanpu）、民雄（Minhsiung）、元長（Yuanchang）、後壁（Houpi）。屛東（Pintung）、臺東（Taitung）等十二處。同一地區採集2～3個穀倉之麥蛾加以混合，攜回室內繁殖，以第三子代以後成蟲供作試驗。

三、藥劑處理

本試驗測試方法乃參照聯合國糧農組織（FAO）於1979年所推薦「農業害蟲對農藥抗藥性的偵測法」中之「倉儲鱗翅目害蟲成蟲抗藥性之測定方法一乾膜法」[22]進行測試。

將配成之4～6個處理濃度之 1 ml 丙酮藥液倒入250ml 之三角錐瓶（高10公分、口徑2.5公分）均勻滾塗瓶壁，作成殘留藥膜瓶，對照組則以丙酮溶液取代藥液，每處理濃度 3 重覆。30°C下每一殘留藥膜瓶分別置入15隻於24小時內羽化之麥蛾成蟲，並使藥瓶平躺，經 6 小時後觀察擊倒率（Knockdown），判斷的標準爲翻轉三角瓶，視麥蛾成蟲倒下無法再站起，所得之數據再以 Finney[10]對機數分析法求得半擊倒濃度（KC_{50}）及相關資料。

四、溫度對藥效之影響及交互抗性的評估

在20°C及30°C下，分別比較巴賽松感性及抗性之麥蛾品系對有機磷劑、氨基甲酸鹽及除蟲菊類等八種殺蟲劑之感受性，以了解交互抗性程度，並評估藥劑受溫度影響之趨勢，供不同季節用藥之參考。

五、麥蛾對巴賽松抗藥機制之探討

先測試氧化酵素抑制劑 PB、水解酵素抑制劑 TBPT 及麩胱甘肽轉基酶抑制劑 NEM 對麥蛾之最高不致死濃度，在30°C下，再以該濃度 1 ml 藥液混合巴賽松藥液，其餘處理方法同上，求得 KC_{50}，再計算協力效果，以推測抗藥性發生的原因。

結果與討論

一、各地區麥蛾品系對巴賽松之感受性

利用乾膜法測得不同採集區麥蛾對巴賽松之感受性如表 1。各品系中以和美品系對巴賽松最敏感，KC_{50}爲8.1ppm，民雄品系抗藥性最高，KC_{50}爲292ppm。若以不同採集區之麥蛾對巴賽松所測得之 KC_{50} 值與和美品系對巴賽松 KC_{50} 值相比較，所得之相對抗性倍數比（Relative resistance

ratio for KC_{50}）以下簡稱 RR，其中以民雄品系最高，可達36倍，其他品系亦介於1.5～18倍之間。

表 1. 30°C時不同採集區麥蛾對巴賽松之感受性

Table 1. Toxicity of phoxim against adults of *Sitotroga cerealella* collected from different areas of Taiwan at 30°C[z]

Strains	KC_{50} (95%FL) (ppm)	Slope±SE	RR[y]
Homei	8.1 (4.45～17.2)	1.29±0.20	1.0
Chichou	12.5 (6.46～28.3)	1.22±0.20	1.5
Houlung	40.3 (23.1～61.6)	1.84±0.47	5.0
Houpi	148.3 (74.4～592)	0.96±0.27	18.3
Hukou	42.6 (24.2～95.4)	1.23±0.32	5.3
Kuanyin	77.2 (54.3～110)	1.84±0.32	9.6
Minhsiung	291.8 (182～904)	1.64±0.42	36.0
Nanpu	96.2 (52.5～2422)	1.84±0.70	11.9
Pintung	42.9 (20.4～66.7)	2.08±0.64	5.3
Taitung	77.4 (33.9～157)	1.24±0.33	9.6
Wufeng	18.9 (9.21～37.6)	1.43±0.40	2.3
Yuanchang	15.1 (8.77～24.4)	1.29±0.21	1.9

[z] 15 adults/replicate, 3 replicates/trial, 4 trials/strain.

[y] RR (Relative Resistance ratio) , KC_{50} of the test strains divided by the KC_{50} of Homei strain

高和曾[5]以同一方法處理各地區品系之麥蛾成蟲對巴賽松之感受性，結果南埔品系之 KC_{50} 最高，爲69.1ppm。臺東品系最敏感，爲0.85ppm。此次調查結果，各地區麥蛾對巴賽松之抗藥性已逐漸提升。顯示近年來巴賽松對麥蛾已漸失防治效果，未來麥蛾之防治應儘速篩選出取代藥劑，以避免麥蛾對巴賽松抗藥性之持續發展。

麥蛾抗藥性之發展分布，由 RR 値較高地區如民雄、觀音、南埔、後壁、臺東等，均呈點狀分布，似無偏重何地方。且本省穀蠹對巴賽松及玉米象對馬拉松之抗藥性分布，亦有相似現象[1,4]。從調查結果顯示穀蠹對巴賽松抗性較高的倉庫，其麥蛾對巴賽松亦呈現較高抗性，因此推測麥蛾對巴賽松之抗藥性發展與穀蠹相似，主要與地區之藥劑長期使用、使用頻率及倉庫形態有密切關係[4]。

二、交互抗性的評估及溫度對藥效之影響

在交互抗性的評估上，在30°C時三類八種藥劑對和美敏感品系及民雄抗性品系毒效比較如表 2。對和美品系之毒效，以巴賽松毒效最佳，KC_{50}爲8.1ppm。其中除蟲菊類藥劑較有機磷及氨基甲酸鹽類有效，但有機磷之巴賽松及氨基甲酸鹽的免敵克之毒效與除蟲菊類相當；八種藥劑對民雄品系麥蛾的毒效則變化較大，其中以賽滅寧毒效最佳，KC_{50} 爲13ppm，其餘以除蟲菊類藥劑毒效較佳，再其次爲免敵克。

表 2. 30°C時，和美及民雄品系麥蛾對不同藥劑之交互抗性

Table 2. Cross resistance of Homei and Minhsiung strains of *S. cerealella* to eight insecticides at 30°C.

Insecticides	KC_{50} (95%FL) (ppm)		RR[z]
	Homei strain	Minhsiung strain	
Chlorpyrifos	191 (112~280)	1717 (1271~2876)	9
Malathion	134 (58~202)	802 (613~1322)	6
Phoxim	8 (4.4~17.2)	292 (182~904)	36
Bendiocarb	14 (10.1~17.1)	99 (62~320)	7.4
Carbaryl	3685 (1894~19586)	〉10000	〉2.7
Cypermethrin	14 (10.2~18.8)	13 (7.8~20.1)	0.9
Deltamethrin	9 (4.8~19.5)	21 (12.4~33)	2.3
Permethrin	29 (20~38)	14 (6.8~22.8)	0.5

[z] RR, KC_{50} of Minhsiung strain divided by the KC_{50} of Homei strain.

在20°C時各藥劑對兩品系之毒效如表3。各藥劑對和美品系之毒效，以第滅寧藥效最佳，KC_{50}為5ppm。其次為免敵克；八種藥劑對民雄品系麥蛾的毒效差異更大，其中仍以第滅寧毒效最佳，KC_{50}為10ppm，其餘藥劑亦以除蟲菊類藥劑較有機磷及氨基甲酸鹽類有效。

表 3. 在20°C時，和美及民雄品系麥蛾對不同藥劑之交互抗性

Table 3. Cross resistance of Homei and Minhsiung strains of *S. cerealella* to eight insecticides at 20°C.

Insecticides	KC_{50} (95%FL) (ppm)		RR[z]
	Homei strain	Minhsiung strain	
Chlorpyrifos	517 (299~823)	2953 (1959~8150)	5.7
Phoxim	213 (128~310)	1924 (1347~2501)	9
Malathion	384 (200~916)	839 (633~1138)	2.2
Bendiocarb	16 (12.6~18.9)	64 (44~124)	4
Carbaryl	〉10000	〉10000	…
Cypermethrin	17 (13.1~21.8)	15 (4.6~27.2)	0.9
Deltamethrin	5 (2.2~10.1)	10 (5.9~14)	2
Permethrin	25 (16~34)	21 (15~33)	0.8

[z] RR, KC_{50} of Minhsiung strain divided by the KC_{50} of Homei strain.

比較兩品系在30°C及20°C下對八種藥劑的抗性倍數比（RR值），發現對巴賽松高度抗性之民雄品系，對另外兩種有機磷劑陶斯松、馬拉松亦產生抗性。此現象與穀蠹極為相似，其交互抗性的產生除可能受巴賽松抗性之影響外，亦可能來自早期馬拉松之廣泛使用及近幾年在倉庫中亦有使用陶斯松燻煙劑等所產生之抗性。但穀蠹對氨基甲酸鹽類並無產生交互抗性，而麥蛾對氨基甲酸鹽類之免敵克

、加保利卻呈現交互抗性現象，其中免敵克毒效尚可，而加保利的毒效在兩種溫度下均不理想。對除蟲菊類之百滅寧、第滅寧、賽滅寧則無交互抗性，且三種除蟲菊藥劑對麥蛾之毒效均佳。

謝等[8]比較六種殺蟲劑與稻穀混拌處理一年期間對麥蛾之防治效果，其中以百滅寧及第滅寧的效果最好，且在低溫時其藥效並未降低，反有上升趨勢。本次測試亦有相同結果，除蟲菊類毒效均佳，而氨基甲酸鹽類免敵克毒效亦尚可，且藥劑對穀蠹之毒效亦以此兩類藥劑爲佳[4]。因積穀中主要害蟲爲穀蠹及麥蛾，未來積穀害蟲防治上可參照上述研究成果作綜合考量，在冬季主要使用除蟲菊類藥劑，於夏季則改以和免敵克交替防治使用，將可延緩害蟲抗藥性之發生。

溫度變化對藥劑之毒效有相當程度影響，如大部分有機氯及除蟲菊類殺蟲劑之毒效受溫度之影響呈現顯著之負效應[19]。氨基甲酸鹽類殺蟲劑略呈負效應，而有機磷劑則具正效應[11,13,14,15]。溫度變化對有機磷藥劑在麥蛾上之毒效有顯著影響，巴賽松、陶斯松及馬拉松對和美品系及民雄品系之麥蛾毒效，均隨溫度增加，KC_{50}值變小，毒效增強。此結果與謝等[7]、Iordanou and Watters[14]、O'Donnell[17]及 Wilkin and Haward[21]等人之試驗結果相吻合。且其中巴賽松的毒效影響最大，和美品系相差達26倍，民雄品系亦達6.6倍。而第滅寧呈負效應，在低溫下對兩品系毒效均有小幅提升，但氨基甲酸鹽類之免敵克及加保利亦則正效應，與除蟲菊類及氨基甲酸鹽類受溫度影響呈負效應之研究結果有極大差異[20,21]，其原因值得進一步研究。

三、麥蛾對巴賽松抗藥性機制之探討

測試氧化酵素抑制劑 PB、水解酵素抑制劑 TBPT 及麩胱甘肽轉基酶抑制劑 NEM 對麥蛾之最高不致死濃度分別爲50ppm、250ppm 和50ppm。添加協力劑於巴賽松後對二種品系麥蛾毒性所造成的協效果（synergism）如表 4，協力劑 PB（SR=0.97）和 NEM（SR=1.04）對巴賽松均無協力效果，而 TBPT（SR=5.1）則呈現協力效果；在民雄抗性品系上，協力劑 PB（SR=1.2）和 NEM（SR=1.1）對巴賽松亦無協力效果，而添加 TBPT 毒效增強，協力效果達3.4倍。

表 4. 30°C下協力劑對巴賽松處理和美及民雄品系麥蛾之毒效影響

Table 4. Effect of synergists on phoxim toxicity to Homei and Minhsiung strains of *S. cerealella* at 30°C.

Treatment	KC_{50} (95%FL) (ppm)	Slope±SE	SR[z]
Homei strain			
Phoxim	8.1 (4.4～17.2)	1.29±0.20	
+PB[y]	8.3 (0.7～18.5)	1.18±0.38	1.0
+TBPT[x]	1.6 (0.4～4.6)	0.71±0.20	5.1
+NEM[w]	7.8 (3.9～18.5)	0.97±0.22	1.0
Minhsiung strain			
Phoxim	292 (182～904)	1.64±0.42	
+PB	250 (182～365)	1.57±0.29	1.2
+TBPT	87 (33～241)	0.78±0.21	3.4
+NEM	268 (187～408)	2.15±0.57	1.1

[z] SR (Synergistic ratio), KC_{50} without synergist divided by the KC_{50} with synergist.
[y] PB, piperonyl butoxide.
[x] TBPT, *S,S,S*-tributyl phosphorotrithioate.
[w] NEM, N-ethylmaleimide

麥蛾對巴賽松的抗藥性機制若是因解毒酵素的分解所產生，則添加協力劑於殺蟲劑中可以測得協力效果，就能推測出抗藥性發生的可能原因[9,16]。和美品系添加氧化酵素抑制劑 PB 及麩胱甘肽轉基酶抑制劑 NEM 對巴賽松毒效並無影響，而水解酵素抑制劑 TBPT 則呈現5.1倍的協力效果，顯示和美品系體內水解酵素參與巴賽松的代謝。而對民雄高抗品系，三種協力劑對巴賽松協作用與和美品系相似，僅有水解酵素抑制劑 TBPT 呈現較明顯協力作用。由上述結果推測水解酵素在兩品系之作用與麥蛾對巴賽松的抗藥性有密切關係。

藉由添加酵素抑制劑來探討麥蛾對巴賽松抗藥性，因 TBPT 協力效果約3～5倍，而抗藥倍數可達36倍，因此抗藥機制除水解酵素之影響外，應還有其它機制。因此未來若能朝其蟲體內各解毒酵素的量及質的變化，或另兩項主要抗藥機制如神經作用部位不敏感及藥劑穿透表皮速率的降低上進行探討[18]，將可更明確瞭解。

誌　謝

本研究承行政院農業委員會84-科技-2.4-糧-46 (4) 之計畫經費補助，文成後承中興大學昆蟲研究所孫志寧教授，本所應用動物系陳炳輝博士及李文台先生不吝撥冗斧正。試驗期中並承李錦霞小姐之協助，謹此一併致謝。

引用文獻

1. 王順成、古德業。1982。玉米象（*Sitophilus zeamais* Motchulsky）之抗藥性研究。植保會刊 24：59—68。
2. 洪巧珍、黃振聲。1992。臺灣各類穀倉中稻穀、糙米及粗糠之害蟲調查。中華昆蟲 12：269—276。
3. 姚美吉、羅幹成。1992。臺灣儲藏袋裝粳稻中之昆蟲種類及其族群密度。中華昆蟲 12：161—169。
4. 姚美吉、羅幹成。1994。穀蠹對巴賽松之抗藥性研究。中華昆蟲 14：331—341。
5. 高穗生、曾經洲。1992。外米綴蛾（*Corcyra cephalonica*）及麥蛾（*Sitotroga cerealella*）對馬拉松及巴賽松感受性之調查。中華昆蟲 12：239—245。
6. 彭武康。1977。鞘翅類害蟲在穀倉之分佈。稻作與糧食研討會專輯。臺灣植保中心印行。74—79頁。
7. 謝豐國、徐士蘭、洪麗梅。1982。六種有機磷殺蟲劑在不同溫度中對玉米象、穀蠹之毒效。植保會刊 24：37—48。
8. 謝豐國、徐士蘭、洪巧珍。1985。以模擬谷倉檢驗施藥法防治積谷害蟲之研究。植保會刊 27：359—370。
9. Attia, F. I., and T. Frecker. 1984. Cross-resistance spectrum and synergism studies in organophosphorus-resistant strains of *Oryzaephilus surinamensis* (L.) (Coleoptera：Cucugidae) in Australia. J. Econ. Entomol. 77：1367-1370。
10. Finny, D.J. 1971. Probit analysis. Cambridge University Press, London.
11. Harris, C. R., and G. B. Kinoshita. 1977. Influence of posttreatment temperature on the toxicity of pyrethroid insecticides. J. Econ. Entomol. 70：215—218。
12. Hill, D. S. 1990. Pests of stored products and their control. CRC Press. pp274.
13. Hirano, M. 1979. Influence of posttreatment temperature on the toxicity of fenvalerate. Appl. Ent. Zool. 14：404—409。
14. Iordanou, N. T., and F. L. Watters. 1969. Temperature effects on the toxicity of five insecticides against five species of stored-product insects. J. Econ. Entomol. 62：130-135。
15. Mensan, G. W. K., and F. L. Watters. 1979. Comparison of four organophosphorus insecticides on stored wheat for control of susceptible and malathion-resistant strains of the red flour beetle. J. Econ. Entomol. 72：456-461。
16. Metcalf, R. L. 1967. Mode of action of insecticide synergists. Ann. Rev. Entomol. 12：229-256。
17. O'Donnell, M. J. 1980. The toxicities of four insecticides to *Tribolium confusum* Duv. in two sets of

conditions of temperature and humidity. J. Stored Prod. Res. 16：71-74。

18. Oppenoorth, F. J.,and W. Welling. 1976. Biochemistry and physiology of resistance, pp. 507-551 *in* C. F. Wilkinson, ed. Insecticide Biochemistry and Physiology. Plenum Press, New York.

19. Thaung, M., and P. J. Collins. 1986. Joint effects of temperature and insecticides on mortality and fecundity of *Sitophilus oryzae* (Coleoptera：Curculionidae) in wheat and maize. J. Econ. Entomol. 79：909-914

20. Watters, F. L., N. C. G. White, and D. Cote. 1983. Effect of temperature on toxicity and persistance of three pyrethiod insecticides applied to fir plywood for the control of the red flour beetle (Coleoptera：Tenebrionidae) J. Econ. Entomol. 76：11-16。

21. Wilkin, D. R., and A. Haward. 1975. The effect of the temperature on the action of four pesticides on three species of storage mites. J. Stored Prod. Res. 11：235-238。

22. Zammarano, K. 1979. Method for lepidopterous larval pests of stored products and tentative method for detecting resistance in adults of stored-product lepidopterous pests. FAO Method No.22. FAO plant Prot. Bull. 27：47-51。

Phoxim Resistance in *Sitotroga Cerealella* Olivier in Taiwan[1]

Me-Chi Yao and Kang-Chen Lo[2]

Summary

Sitotroga cerealella Olivier, one of the most important lepidopteran insect pests of stored grains in Taiwan, has developed resistant to phoxim after continuous chemical applicatioons for 15 years. Survey results revealed that Minhsiung strain was the most resistant while Homei strain was the most susceptible to phoxim with a resistance ratio found in Minhsiung strain of 36. Minhsiung strain showed cross resistance to chlorpyrifos and bendiocarb but not to pyrethroids. Temperature is a major factor that significantly influences the performance of insecticides. Organophosphorus and carbamate insecticides were more toxic to this insect at 30°C than at 20°C. On the other hand, pyrethroids showed negative temperature coefficient. Deltamethrin was more effective at 20°C in Minhsiung strain, and cypermethrin was more toxic at 30°C. Effectiveness of insecticides against stored-product insects may vary with seasons. Pyrethroids are suggested to be applied to control stored-product insects in the winter season, and bendiocarb in the summer.

Key words : *Sitotroga cerealella,* Phoxim, Cross resistance, Temperature.

1. Contribution No. 1788 from Taiwan Agricultural Research Institute.
2. Assistant and Senior Entomologist, Department of Applied Zoology, TARI. Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.